



Hans Koivisto

# Sairaalan kattiloiden säiliöiden uusinnat ja energiansäästömahdollisuudet

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Energia- ja ympäristötekniikka  
Insinöörityö  
10.5.2011



## **ALKULAUSE**

Tämä insinöörityö tehtiin Lohjan sairaalalle. Haluan kiittää neuvoista sekä tuesta Elomatic Oy:n johtavaa energia-asiantuntija Sebastian Kankkosta, työni ohjaajaa lehtori Jarmo Perttulaa sekä perhettäni. Haluan myös kiittää Elomatic Oy:tä minulle antamasta mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyöni.

Helsingissä 10.5.2011

Hans Koivisto

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Hans Koivisto Sairaalan kattiloiden säiliöiden uusinnat ja energiansäästömahdollisuudet 32 sivua 10.5.2011
Tutkinto	Insinööri
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energia- ja ympäristötekniikka
Ohjaaja	Lehtori Jarmo Perttula Johtava energia-asiantuntija Sebastian Kankkonen
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli tehdä esiselvitys syöttövesi- ja lauhdesäiliöiden uusimisesta varusteineen sekä ekonomasierin asennuksesta Lohjan sairaalan höyrykattilalaitokseen. Tavoitteena oli selvittää uusien säiliöiden kustannukset sekä toiminta peruskorjauksien aikana ja se, olisiko kannattavaa varustaa myös toinen kattila ekonomasierilla. Työssä selvitettiin myös mahdolliset laitteiden energiatehokkuuden parantamismahdollisuudet.</p> <p>Työn toteutuksessa on lähdetty liikkeelle Lohjan sairaalan höyrykattilalaitoksen yleisestä esittelystä. Syöttö- ja lauhdesäiliöiden esisuunnitelmassa käytiin läpi toimituksen sisältö urakkarajoineen ja laitoksen käyttö poikkeavassa tilanteessa sekä laskettiin säiliöille suuntaa antava kustannusarvio. Säiliöiden yhteishinnaksi arvioitiin noin 70 000 €. Säiliöiden esisuunnitelmassa laskettiin myös, kuinka eristepaksuudella ja syöttövesisäiliön hönkähöyryn talteenotolla voidaan lisätä energiatehokkuutta. Varsinkin Hönkähöyryn talteenotolla havaittiin saatavan säästöjä parhaimmillaan noin 10 700 €/a.</p> <p>Ekonomasierin esiselvityksessä käytiin läpi toimituksen sisältö sekä urakkarajat ja laadittiin kustannusarvio. Ekonomasierin kustannukseksi arvioitiin noin 56 000 €. Ekonomasierin takaisinmaksuajaksi laskettiin 2 - 12 vuotta, riippuen laajalti ekonomasierin vuotuisista käyttötunneista.</p>	
Avainsanat	ekonomasieri, esiselvitys, takaisinmaksuaika, energiansäästö

Author Title Number of Pages Date	Hans Koivisto Renewal of boiler tanks and the possibility of energy savings 32 pages 10 May 2011
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Energy and Environmental Engineering
Instructor	Jarmo Perttula, Senior Lecturer Sebastian Kankkonen, Leading expert, energy technology, Elomatic
<p>The purpose of this Bachelor's Thesis was to make a preliminary report of the renewal of the feed water and the condensate tanks and the installation of an economizer at the Lohja hospital power plant. The main point was to find out the prices of the tanks and how the power plant will operate during the renovation. Another important point was to find out if it would be worthwhile to equip a boiler with an economizer. In this Bachelor's Thesis the possibilities of energy savings regarding the equipment were also taken into consideration.</p> <p>The Bachelor's Thesis begins with an introduction to the power plant. The preliminary report of the tanks involves the construction project, the operation of the power plant during the renovation and the cost estimate of the tanks. The prices of the tanks were estimated to be around 70 000 €. Energy savings when changing the thickness of the insulation in the feed water tank and installing a vent heat recovery system were calculated also for the preliminary report. It appears from the investigation that the vent heat recovery system would save approximately 10 700 €/a.</p> <p>The preliminary report of the economizer involves the construction project and the cost estimation of the economizer. The price of the economizer was estimated to be around 56 000 €. The payback period of the economizer was calculated to be between two and 12 years depending on the annual usage time of the economizer.</p>	
Keywords	Economizer, preliminary report, payback period, energy saving

## **Sisällys**

Alkulause

Lyhenteet

<b>1</b>	<b>Johdanto</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Lohjan sairaalan höyrykattilalaitos</b>	<b>2</b>
2.1	Nykytilanne	4
2.2	Teknisiä tietoja	4
2.3	Tulitorvi-tuliputkikattila	6
2.4	Syöttövesi- ja lauhdesäiliöt	7
<b>3</b>	<b>Syöttövesi- ja lauhdesäiliöiden esisuunnitelma</b>	<b>8</b>
3.1	Toimituksen sisältö	8
3.2	Asennuksen ja hankinnan urakkarajat	9
3.3	Tilojen vaikutus asennuksiin	11
3.4	Laitoksen käyttö asennuksen aikana	12
3.5	Kustannusarvio	13
3.5.1	Laskentamenetelmät	13
3.5.2	Laitteistot ja asennukset	14
3.5.3	Tulokset	15
3.6	Energiansäästömahdollisuudet	16
3.6.1	Eristys	16
3.6.2	Hönlöhöyryn talteenotto	18
<b>4</b>	<b>Kannattavuusselvitys ekonomaiserein asentamiseksi</b>	<b>21</b>
4.1	Ekonomaiseri	21
4.2	Toimituksen sisältö	22
4.3	Asennuksen ja hankinnan urakkarajat	24
4.4	Tilojen vaikutus asennuksiin	25
4.5	Kustannusarvio	25
4.5.1	Laitteistot ja asennukset	25
4.5.2	Laskentamenetelmät	26
4.5.3	Tulokset	27
<b>5</b>	<b>Päätelmät</b>	<b>30</b>
	Lähteet	32

## Lyhenteet

$A$	Kokonaispinta-ala, m <sup>2</sup>
AN	Annuiteetti
bar (y)	Ylipaine
$c_{p,v}$	Veden ominaislämpökapasiteetti, kJ / kg·°C
Ekonomaiseri	Syöttöveden esilämmitin
$\epsilon$	Lämmönsiirtimen hyötysuhde
€/a	Euroa vuodessa
$H_u$	Polttoaineen lämpöarvo, MJ/kg
$h_{sv}$	Syöttöveden entalpia, kJ/kg
$h_{th}$	Tuorehöyryn entalpia, kJ/kg
HUS	Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiri
k	Eristeen lämmönjohtavuus, W/m·°C
$l$	Eristeen paksuus, m
$\lambda$	Eristeen ominaislämmönjohtavuus, W/m <sup>2</sup> ·°C
$\dot{m}$	Massavirta, kg/s
$\dot{m}_{hönkä}$	Hönlähöyryn massavirta, kg/s
$\dot{m}_{lisävesi}$	Lisäveden massavirta, kg/s
$\dot{m}_{pa}$	Polttoaineen massavirta, kg/s
$\dot{m}_{sv}$	Syöttöveden massavirta, kg/s
MW	Megawatti
MWh	Megawattitunti
$\emptyset_{säätö}$	Vuosittain säästettävä energia, MWh
$\Phi_{Eko}$	Ekonomaiserin teho, kW
$\Phi_K$	Kattilan teho, MW
$\dot{Q}$	Lämpöhäviö, W
$\dot{Q}_{max}$	Suurin mahdollinen lämmönsiirtokyky, kW

$\dot{Q}_{tod}$	Todellinen lämmönsiirtokyky, kW
$\dot{Q}_{vuosi}$	Vuosittainen lämpöhäviö, MWh
$T_1$	Veden tulolämpötila, °C
$T_2$	Veden lähtölämpötila, °C
$T_{kylmä, sisään}$	Kylmemmän väliaineen sisäänmenolämpötila, °C
$T_{kylmä, ulos}$	Kylmemmän väliaineen ulostulolämpötila, °C
$\Delta T$	Lämpötilaero, °C
TMA	Takaisinmaksuaika
$\eta$	Kattilan hyötysuhde

## **1 Johdanto**

Tämän insinöörityön tarkoituksena oli tehdä esiselvitys syöttövesi- ja lauhdesäiliöiden uusimisesta varusteineen sekä ekonomaiserin asennuksesta Lohjan sairaalan höyrykattilalaitokseen. Tavoitteena oli selvittää uusien säiliöiden kustannukset sekä toiminta peruskorjauksien aikana ja se, olisiko kannattavaa varustaa myös toinen kattila ekonomaiserilla. Työssä selvitettiin myös mahdolliset laitteiden energiatehokkuuden parantamismahdollisuudet. Tämän selvityksen perusteella Lohjan sairaala laatii investointiesitykset tulevista laitehankinnoista ja niiden kannattavuudesta sekä toiminnasta peruskorjauksen aikana.



## 2 Lohjan sairaalan höyrykattilalaitos

Lohjan sairaalassa on käytössä vuonna 1978 käyttöönotettu höyrykattilalaitos (kuvio 1). Kattilarakennuksessa on kaksi rinnakkaista tulitorvi-tuliputkihöyrykattilaa tyyppiä UNEX BH, joilla tuotetaan sairaalan tarvitsema höyry, lämpö sairaalan aluelämpöverkkoon sekä tarvittaessa lämpöä Lohjan kaupungin kaukolämpöverkkoon. Lohjan sairaalassa tuotettua höyryä käytetään mm. leikkausvälineiden sterilisoinnissa, pesu- ja desinfiointilaitteissa, keittölaitteissa sekä ilmastoinnin kosteutuksessa.



Kuvio 1. Lohjan sairaalan höyrykattilalaitos

HUS-kuntayhtymä on tehnyt työ- ja elinkeinoministeriön kanssa energiansäästö-sopimuksen, mikä velvoittaa HUS-kuntayhtymää parantamaan energiatehokkuutta

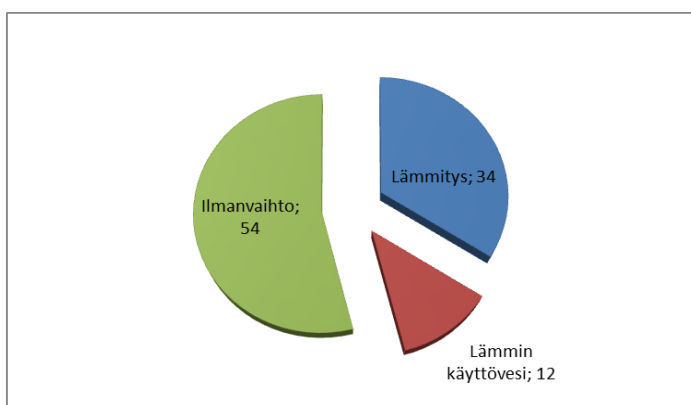
toiminnassaan. HUS on sopimuksellaan sitoutunut vähentämään energiaa vuoteen 2016 mennessä 9 %, mikä vastaa 25,1 GWh. Lohjan sairaalassa on tehty energiansäästöinvestointeja, mm. lisäämällä lämmön talteenottoa ilmanvaihtojärjestelmiin, valaistuksen ohjausmuutoksilla ja kattilalaitoksen laitteistousinnoilla. [1.]

HUS on osana Euroopan unionia sitoutunut merkittävään energiatehokkuuden parantamiseen. Sairaalarakennusten energiankulutus muodostuu lämpöenergian, sähköenergian ja höyryn tuotantoon tarvittavan energian kulutuksesta. Energiankäytön jakautumia tarkastellaan myös energiakatselmuksessa.

Lämmitysenergian kulutus muodostuu tilalämmityksestä, ilmanvaihdon lämmityksestä sekä käyttöveden lämmityksestä. Kulutuksen jakauma (kuvio 2) riippuu merkittävästi siitä, onko ilmanvaihtojärjestelmissä kattava lämmön talteenotto vai ei. Nykyrakentamisessa lämmitysenergian kokonaiskulutuksesta yleensä tilojen lämmitykseen kuluva energiaa on noin puolet, vajaa puolet kohdentuu ilmanvaihdon lämmitykseen ja noin 5 - 10 % lämpimän käyttöveden lämmitykseen.

Energiaa kuluttavia LVI-teknisiä järjestelmiä ovat

- lämmitysjärjestelmä
- käyttövesijärjestelmä
- jäähdytysjärjestelmä
- höyry- ja lauhdejärjestelmä
- sairaalakaasujärjestelmä



Kuvio 2. Sairaalarakennuksen keskimääräinen lämmitysenergian kulutusjakauma

## 2.1 Nykytilanne

Kattilalaitoksessa on uusittu molempiin höyrykattiloihin maakaasupoltin 2000-luvulla. Tätä ennen laitos käytti polttoaineena raskasta polttoöljyä. Lisäksi laitoksella on uusittu vuonna 2008 höyrylämmönvaihdin sekä varustettu toinen höyrykattila ekonomaiserilla, jolloin laitoksen hyötysuhdetta on saatu parannettua. Laitoksen ilmanvaihtokoneet sekä automatiikka on uusittu vuonna 2007. Kattiloiden syöttöveden säätöjärjestelmät on uusittu 2008. Raskasöljysäiliö on korvattu kevytöljysäiliöllä vuonna 2007. Lämpökeskus on kytketty sairaalan sähkövaravoimajärjestelmän piiriin, joten energiantuotanto toimii normaalisti, vaikka valtakunnan verkkoon tulee katkoksia sähkönsyötössä. [1.]

Laitoksessa oma tekninen henkilökunta hoitaa päivittäiset ja muut pienemmät huolto- ja korjaustyöt; laajamittaiset ja suuremmat työt tilataan tarpeen mukaan valtuutetuilta alan huoltoyrityksiltä. Kattilalaitos on miehittämättömässä käytössä. Käytössä oleva rakennusautomaatiojärjestelmä hoitaa kattilalaitoksen valvonnan sekä ohjauksen.

Syöttövesi- ja lauhdesäiliöille 2000-luvun lopulla tehdyssä kuntokartoituksessa havaittiin säiliöissä syöpymiä. Laitoksen käyttöhäiriöiden välttämiseksi säiliöt päätettiin uusia lähivuosien aikana. Höyrykattilat ovat tällä hetkellä tyydyttävässä kunnossa, ja niiden uusiminen on ajankohtaista tulevan kymmenen vuoden aikana.

## 2.2 Teknisiä tietoja

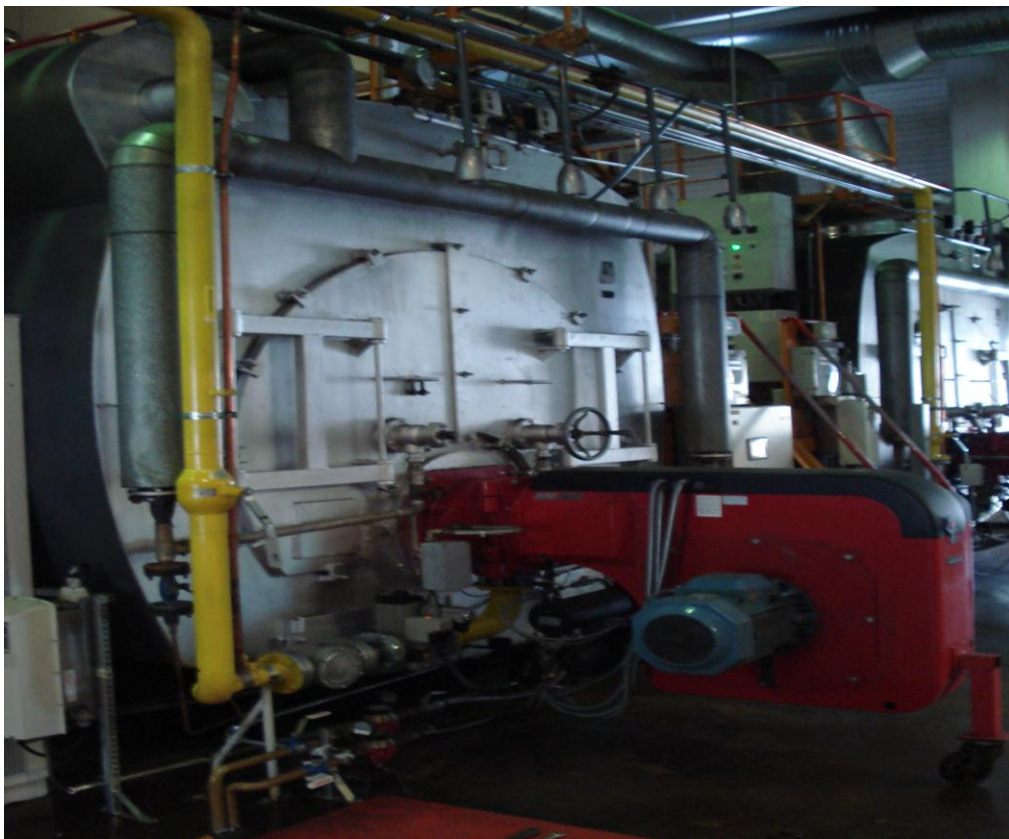
Kattilalaitoksessa on kaksi kappaletta Rauma-Repola Uusikaupungin valmistamia UNEX BH 6500 tulitorvi-tuliputkihöyrykattiloita. Laitos on teholtaan 9.2 MW. Kattilat käyttävät pääpolttoaineena maakaasua sekä varapolttoaineena kevyttä polttoöljyä. Toinen kattiloista on varustettu 168 kW:n tehoisella ekonomaiserilla. Laitoksen vuosittainen energiantuotanto on noin 10 250 MWh.

Laitoksen energiantuotanto tulee kasvamaan vuodesta 2014 alkaen sairaalan laajennuksen valmistuttua. Kokonaisenergiantuotanto vuodessa tulee olemaan laajennuksen jälkeen n. 13 000 MWh. Taulukossa 1 on esitetty yhden kattilan tunnuslukuja.

Taulukko 1. Höyrykattilan tunnuslukuja

Teho	6500 kg/h
Rakennepaine	10 bar (y)
Tulipesän tilavuus	n. 3.6 m <sup>3</sup>
Vesitilavuus	14 m <sup>3</sup>
Höyrytilavuus	n. 2.8 m <sup>3</sup>

Kattilalaitoksen kokonaisenergiantuotannosta noin 8750 MWh on kaukolämpöenergiaa ja 1500 MWh on höyryä. Kuvassa 3 on höyrykattilalaitoksessa käytössä oleva kattila.

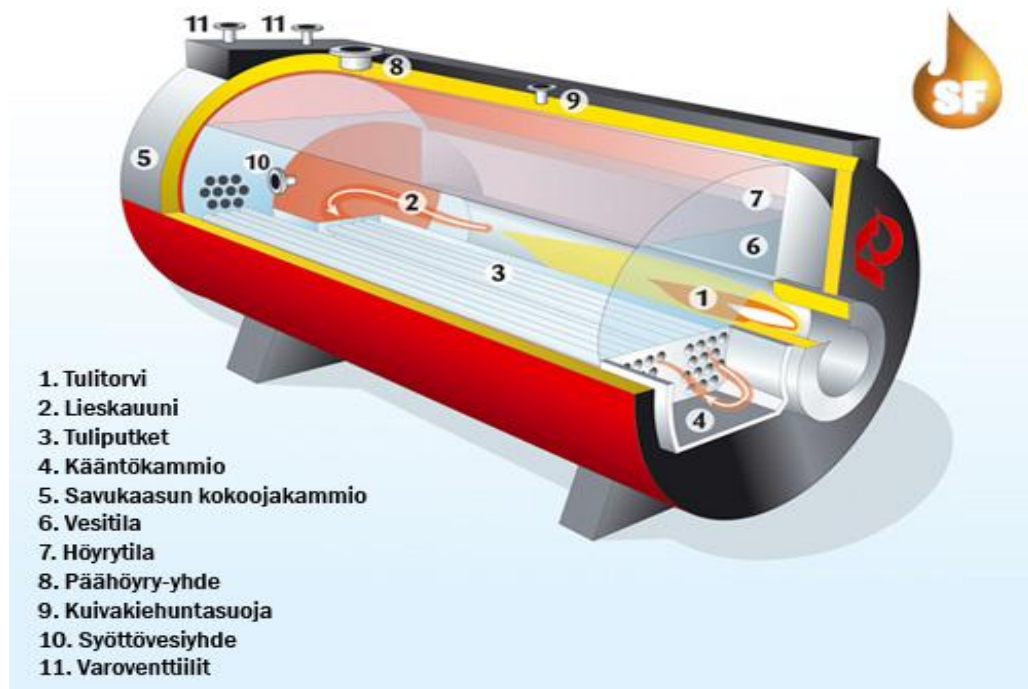


Kuvio 3. UNEX BH 6500 tulitorvi-tuliputkikattila

Lohjan sairaalan höyrykattilalaitos on HUS-Tilakeskuksen omistama. HUS-Tilakeskus myy höyryä ja lämpöenergiaa Lohjan sairaalle noin 60 €/MWh hinnalla.

## 2.3 Tulitorvi-tuliputkikattila

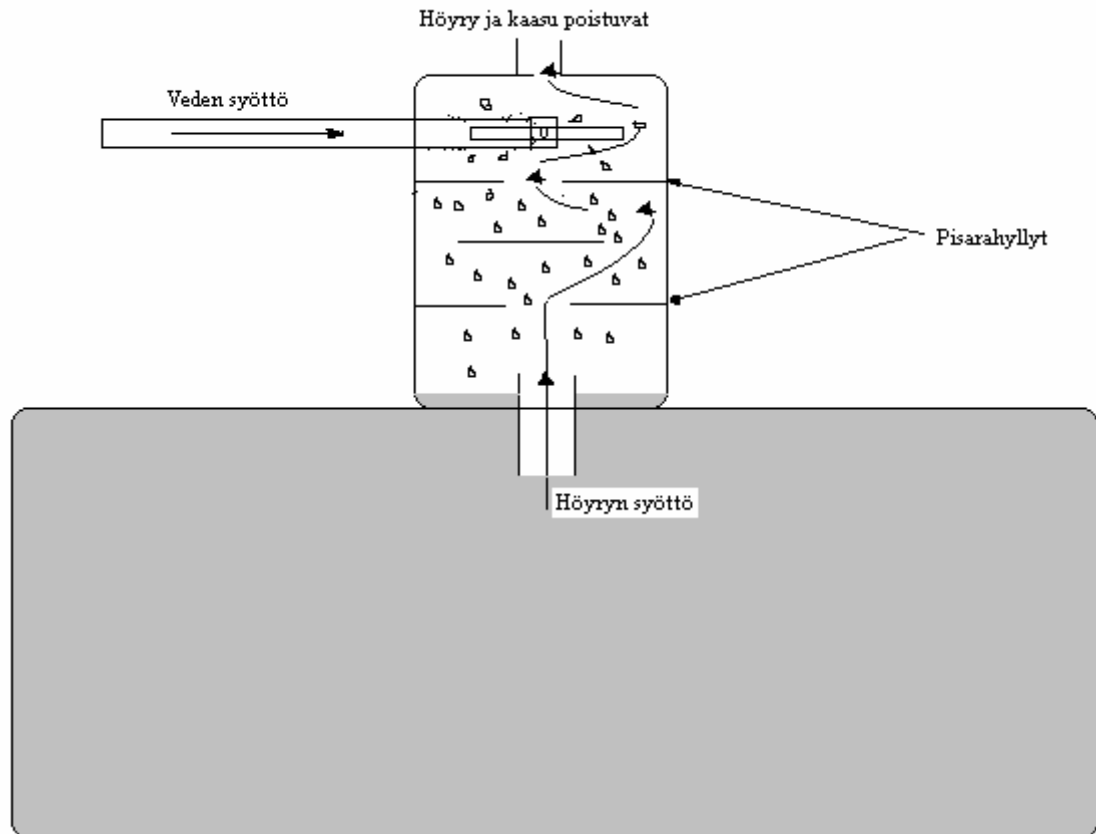
Tulitorvi-tuliputkikattila on lieriön muotoinen höyrykattila, jota käytetään yleensä lämmöntuotannossa. Kattila on niin sanottu kolmivetoinen kattila, jossa tulitorvi muodostaa ensimmäisen vedon ja tuliputket toisen ja kolmannen vedon. Tulitorvi sijaitsee kattilan alaosassa ja polttoaineena käytetään normaalisti maakaasua tai kevyttä polttoöljyä. Syntyvät savukaasut ohjataan kääntökammioon, josta ne tuubiputkien läpi menevät kattilan etuosaan ja taas toisia tuubiputkia myöten kattilan takaosaan. Tämän jälkeen savukaasut johdetaan savupiippuun mahdollisen ekonomaiserin kautta. Tulitorvi ja tuliputket ovat vesitilan ympäröimiä ja kattilan yläosassa on höyrytila, josta kylläinen höyry johdetaan höyryputkistoon. Kun höyryn kulutus muuttuu, pumpataan syöttövesisäiliöstä tarpeen mukaan uutta vettä kattilaan. Pumppaus tapahtuu joko keskipako- tai vesirengaspumpuilla. Tulitorvi-tuliputkikattilassa olevat pinnankorkeuskytkimet pitävät pinnankorkeuden oikeanlaisena säätöventtiiliä tai pumppuja ohjaamalla. Kattiloihin on asennettu myös kaksi kuivakiehunnan estävää kytkintä, jotka estävät kattilan käytön liian pienellä vesimäärällä ja kattilavaurioiden synnyn. [2.] Kuvassa 4 on poikkileikkaus kattilasta.



Kuvio 4. Tulitorvi-tuliputkikattila [3]

## 2.4 Syöttövesi- ja lauhdesäiliöt

Syöttövesi- eli syvesäiliö on kattilaan syötettävän veden varaaja, ja se toimii myös osana höyrykattilalaitoksen vedenkäsittelyä. Syvesäiliön yhteydessä toimiva kaasunpoistin estää korroosiota aiheuttavien kaasujen pääsyn syöttöveeseen. [4.] Kaasunpoistin voidaan asentaa esimerkiksi syvesäiliön päälle, kuten kuvassa 5.



Kuvio 5. Kaasunpoistin syöttövesisäiliön päällä [7, s. 24]

Lauhde- ja lisävesi syötetään kaasunpoistimeen suihkuna, josta se valuu rei'itettyjen teräslevyjen läpi. Vesi syötetään pisaroina, jotta se joutuisi kosketuksiin mahdollisimman tehokkaasti kaasunpoistimeen syötetyn hönkähöyryn kanssa. Vedestä poistetut kaasut ohjataan hönkähöyryputkien avulla katolle. Kaasunpoiston yhteydessä höyry myös lämmittää säiliölle menevää vettä. [4.]

Lauhdesäiliön tehtävänä on varastoida prosessista saapuva lauhtunut höyry. Lauhde pumpataan lauhdepumpuilla syöttövesisäiliöön kaasunpoistimen kautta. Lauhdesäiliö on tehty paineettomaksi.

### 3 Syöttövesi- ja lauhdesäiliöiden esisuunnitelma

#### 3.1 Toimituksen sisältö

Syöttövesi- ja lauhdesäiliöille 2000-luvun lopulla tehdyssä kuntokartoituksessa havaittiin säiliöissä syöpymiä. Kun kyseessä on sairaala, potilaiden hyvinvointi on turvattava höyryn ja lämmön säännöllisellä tuotolla. Laitoksen käyttöhäiriöiden välttämiseksi säiliöt on uusittava lähivuosien aikana.

Toimitukseen sisältyvät seuraavat laitteistot ja asennukset:

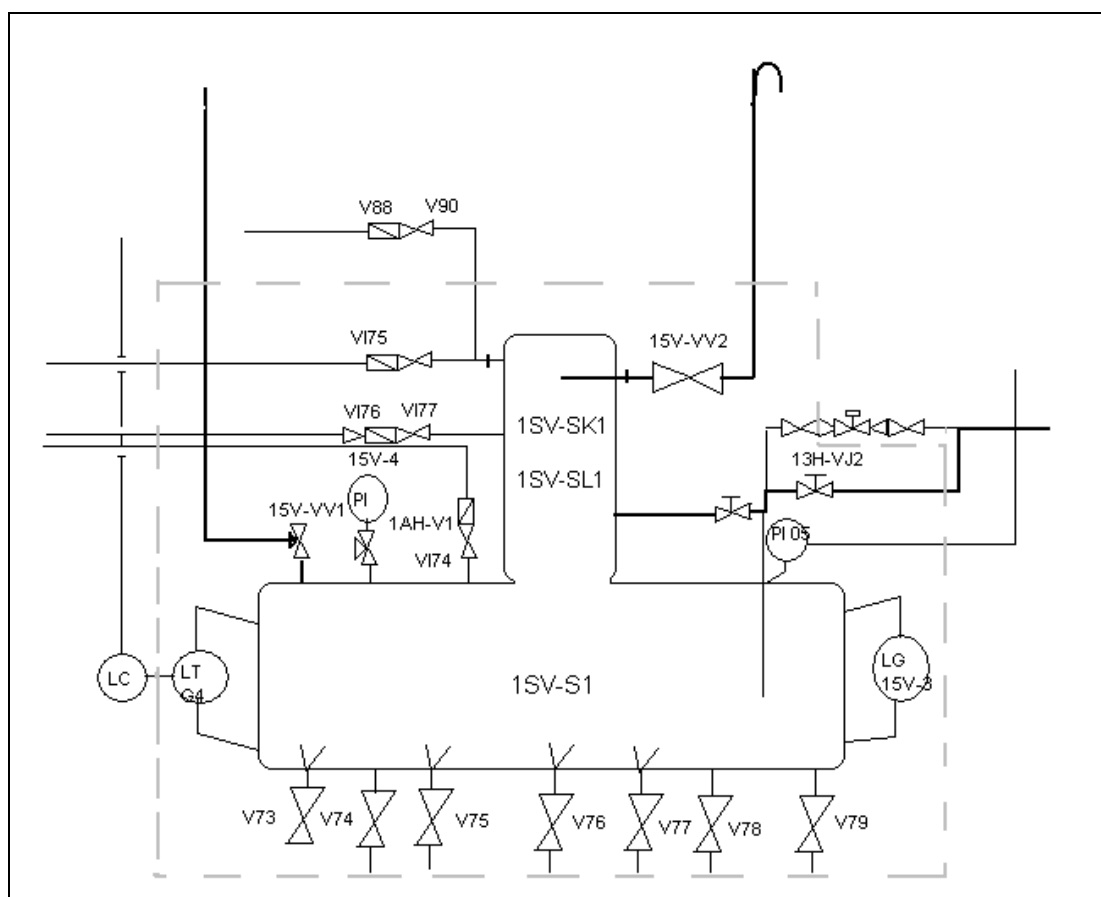
- syve- ja lauhdesäiliöiden purku putkistoineen ja eristeineen
- purkujätteiden hävittäminen ja hyvittäminen teräsmateriaalista
- syöttövesi- ja lauhdesäiliöiden mitoitus liittyvät tehtävät
- syöttövesi- ja lauhdesäiliöt varusteineen (kaasunpoistin, miesluukku, syvesäiliön varoventtiili, vesilasi, mittausyhteet ym.)
- osoittavat paine- ja lämpötilamittaukset
- putkisto venttiileineen
- eristykset (säiliöt, venttiilit ja putkistot)
- kannakointi ja merkinnät
- PED-hyväksyntä
- rahdit ym.
- käytön opastus ja huolto-ohjeet
- loppudokumentointi.

Syöttövesisäiliön koko on vähintään 9,2 m<sup>3</sup> ja lauhdesäiliön koko 4,8 m<sup>3</sup>. Putkiston ja venttiilien mitoitus annetaan toimittajan tehtäväksi. Toimittaja hankkii säiliöille tarvittavat painelaitedirektiivin mukaiset hyväksynnät. Säiliöiden toimituksen ja siihen mitoitettavan putkiston ja venttiilien tulee täyttää Suomen ja EU-direktiivien painelaitelain säädökset. Toimituksen tulee sisältää tarvittavat putkistovarusteet, venttiilit, laipat, yhteet, kannakkeet sekä muut varusteet toimivan järjestelmän aikaansaamiseksi. Eristystyöt kuuluvat asennusurakoitsijalle. Toimittaja suorittaa ja hyväksyttää putkistoon ja säiliöön tarvittavat tarkastukset ja tiiveyskokeet. Uuteen

lauhdesäiliöön on myös tehtävä yhteet poikkeusajoa varten. Poikkeusajossa lauhdesäiliötä voidaan käyttää mm. väliaikaisena syöttövesisäiliönä.

### 3.2 Asennuksen ja hankinnan urakkarajat

Syöttövesisäiliöstä uusitaan kaikki sulkuventtiilit sekä varoventtiili. Nykyinen höyrystäventtiili säilytetään, koska se on uusittu 2000-luvun alussa. Nykyinen hoitotaso säilytetään ja asennetaan uuden syöttövesisäiliön yhteyteen. Kuvassa 6 syöttövesisäiliön urakkaraja, joka on merkitty kuvaan harmaalla katkoviivalla. Paksuimmat viivat kuvastavat putkia joissa virtaa höyryä, ohuempissa vettä tai lauhdetta.



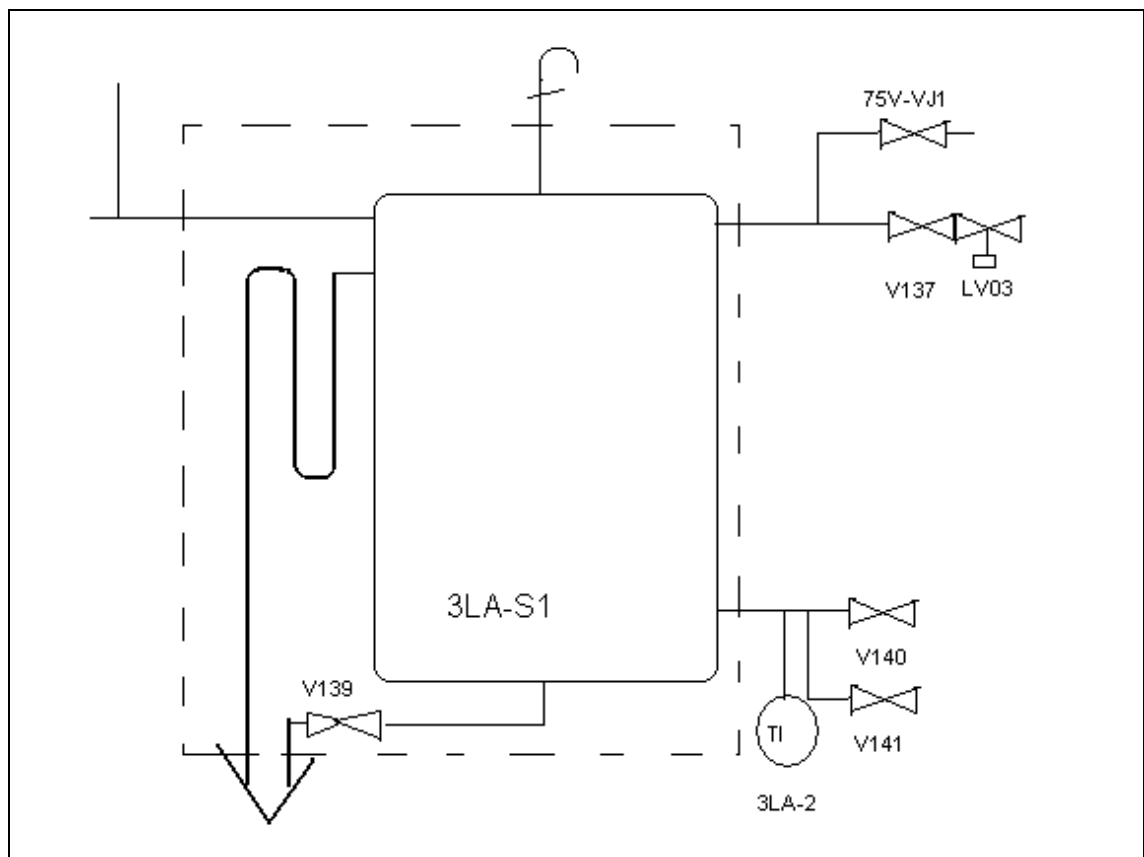
Kuvio 6. Syöttövesisäiliön urakkaraja

Syöttövesisäiliöltä lähtevät pohjaventtiilit V73-V79 uusitaan. Lauhdelinjojen sulku- ja takaiskuventtiilit VI75, VI76 ja VI77 poistetaan ja uusitaan. Lämpötila- ja painemittarit ovat vanhoja ja voivat näyttää vääriä arvoja, joten uusinnan yhteydessä myös ne vaihdetaan.



Nykyinen kaasunpoistin on tekniseltä ja taloudelliselta käyttöikältään elinkaarensa lopussa, joten myös se uusitaan.

Lauhdesäiliön nykyiset sulkuventtiilit pyritään säilyttämään. Pinnansäätölaite säilytetään, mikäli se on mahdollista liittää uuteen säiliöön. Kuvassa 7 on lauhdesäiliön urakkaraja.



Kuvio 7. Lauhdesäiliön urakkaraja

Lauhdesäiliön asennuksen urakkaraja on merkitty kuvaan katkoviivoin. Pohjaventtiili V139 uusitaan, muut laitteet pyritään säilyttämään. Uuden säiliön mukana tuleva vesilasi korvaa nykyisen.

### 3.3 Tilojen vaikutus asennuksiin

Syöttövesisäiliö sijaitsee kattilalaitoksen toisessa kerroksessa. Alustavien tutkimusten mukaan vanha säiliö voitaisiin siirtää pois käyttämällä laitoksen kattoon rakennettua nosturia, jonka nostoteho on 2000 kg. Uusi syöttövesisäiliö on mahdollista tuoda paikalleen pariovesta, sen halkaisijan ollessa noin 1.8 m sekä laitoksen nosturia käyttäen. Säiliö ja kaasunpoisto-osa tuodaan asennuspaikalle erillisinä yksiköinä. Putkistomuutokset ja venttiili-asennukset suoritetaan asennuspaikalla. Uusi säiliö asennetaan nykyisten betonitasojen päälle. Säiliön, putkiston ja venttiilien eristystyöt suoritetaan asennuspaikalla. Kuvassa 8 on kattilalaitoksessa oleva syöttövesisäiliö ja kaasunpoistoyksikkö.



Kuvio 8. Kattilalaitoksen syöttövesisäiliö, jonka päällä kaasunpoistin

Lauhdesäiliö on sijoitettu kattilalaitoksessa kellarikerrokseen. Vanhan säiliön poisto ja uuden tuonti asennuspaikalle on mahdollista katossa olevan huoltoluukun kautta. Laitoksen nosturia käytetään säiliön siirtämiseksi asennuspaikalle. Kuvassa 9 on uusittava lauhdesäiliö.



Kuvio 9. Lauhdesäiliö ja lauhdepumput

### 3.4 Laitoksen käyttö asennuksen aikana

Lauhde- ja syöttövesisäiliön asennus on tehtävä kesällä, koska silloin laitoksen energiantuotanto on pienimmillään. Asennus vaiheistetaan niin, että ensimmäisessä vaiheessa syöttövesisäiliö puretaan ja uusi säiliö asennetaan varusteineen. Asennuksen aikana syöttövesi ohjataan lauhdesäiliöstä kattilaan ohittaen syöttövesisäiliön. Lisävesiputkistoon tehdään tarvittavat kytkentämuutokset, jotta kattiloiden tarpeellinen vedensaanti turvataan. Syöttövesisäiliön asennuksen aikana selvitetään myös pumppulinjojen putkien kunto. Mikäli kuntotarkastuksessa putkiston kunto todetaan huonoksi, niin säiliön uusinnan yhteydessä uusitaan myös syöttövesiputkistot.

Putkiuusinnat tehdään pumppulinja kerrallaan, jolloin käytössä on aina kaksi pumppua, kun yhtä pumppulinjaa uusitaan.

Uuden syöttövesisäiliön käyttöönoton jälkeen puretaan vanha laudesäiliö. Lauhdesäiliön asennus pyritään tekemään yhden vuorokauden aikana. Asennuksen aikana lauhteet ajetaan viemäriin, jolloin kattilaan syötetään vedenpehmentimien kautta ainoastaan lisävetä. Kattilalaitoksen tulee varautua tilanteeseen hankkimalla tarpeeksi kemikaaleja hapen sitomiseen ja säätää niiden syöttö oikeanlaiseksi, jotta estetään hapen kulkeutuminen kattilaan. Uuden säiliön suunnittelussa on otettava se huomioon, että vanhan säiliön yhteydet sopivat uuteen säiliöön. Tällä tavalla asennus saadaan nopeasti suoritettua ja höyrykattilalaitos pääsee takaisin normaaliin ajotapaan.

Työssä on noudatettava työturvallisuus-, paloturvallisuus- sekä sairaalan muita ohjeita.

### 3.5 Kustannusarvio

#### 3.5.1 Laskentamenetelmät

##### Takaisinmaksuajan menetelmä

Takaisinmaksuajan menetelmässä lasketaan se aika, jonka kuluttua investoinnista saadut tulot ovat yhtä suuret kuin investoidut menot. Yksinkertaistetussa menetelmässä takaisinmaksuaika saadaan selville jakamalla tehty investointi saatavilla vuosituloilla, mutta tällöin ei oteta huomioon korkoa. Kun korko otetaan huomioon, saadaan takaisinmaksuajalle yhtälö

$$TMA = \frac{-\ln\left(\frac{1}{i} - \frac{H}{q}\right) - \ln(i)}{\ln(1+i)} \quad (1)$$

jossa  $H$  on investoinnin hankintameno,  $q$  on vuosittainen tulo ja  $i$  on laskentakorkokanta.

## Annuiteetti

Annuiteettimenetelmä laskee investointimenot samansuuruisiksi vuosisummiksi eli annuiteeteiksi. Investointi on silloin kattava, kun vuosittaiset tulot ovat suuremmat kuin menot. Annuiteetiksi saadaan siis

$$AN = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2)$$

jossa  $i$  on korkokanta ja  $n$  on investoinnin laskenta-aika vuosina. [7.]

### 3.5.2 Laitteistot ja asennukset

Laitteistojen kustannusarvio on laadittu laitteita valmistavien yritysten antamien hintojen perusteella. Kustannuslaskelmissa arvonlisävero on 0 %. Syöttövesisäiliön kustannukset yhteensä ovat noin 45 900 € ja lauhdesäiliön kustannukset yhteensä noin 23 250 €. Taulukossa 2 on eritelty syöttövesisäiliön kustannukset.

Taulukko 2. Syöttövesisäiliön kustannukset

Kohde	Kustannus
Säiliö	20 000 €
Venttiilit jne.	3 000 €
Putkistot	6 000 €
Kanavat	0 €
Eristykset	5 000 €
PED hyväksyntä	3 400 €
Rahdit ym.	2 000 €
Suunnittelu	2 500 €
Muut kulut	4 000 €
<b>Yhteensä</b>	<b>45 900 €</b>

Taulukossa 3 on eritelty lauhdesäiliön kustannukset.

Taulukko 3. Lauhdesäiliön kustannukset

Kohde	Kustannus
Säiliö	12 000 €
Venttiilit jne.	1 000 €
Putkistot	3 000 €
Kanavat	0 €
Eristykset	3 000 €
PED hyväksyntä	0 €
Rahdit ym.	1 000 €
Suunnittelu	1 250 €
Muut kulut	2 000 €
<b>Yhteensä</b>	<b>23 250 €</b>

Säiliöiden eristys hoidetaan tehtaalla, sillä työmaalla tehty eristys nostaa työn hintaa. Eristys saadaan myös tehtyä paremmin, koska tilat höyrykattilalaitoksessa ovat suhteellisen ahtaat.

### 3.5.3 Tulokset

Reaalikoron ollessa 3 % ja investoinnin laskenta-ajan 5 vuotta, annuiteetiksi lasketaan kaavasta (2)

$$AN = 0,21835$$

Syöttövesisäiliön kustannukset ovat yhteensä noin 55 400 €. Syöttövesisäiliön vuosittainen kustannus saadaan annuiteetin ja kokonaiskustannusten tulosta

$$\text{Vuosikustannus} = 0,21835 \cdot 45900\text{€} = 10022\text{€}$$

Lauhdesäiliön kustannukset ovat yhteensä noin 23 250 €. Lauhdesäiliön vuosittaiseksi kustannukseksi saadaan

$$\text{Vuosikustannus} = 0,21835 \cdot 23250\text{€} = 5077\text{€}$$

### 3.6 Energiansäästömahdollisuudet

Uusien säiliöiden asennus antaa mahdollisuuden energiansäästöön. Vanhoille säiliöille suuren muutostyön tekeminen olisi epäkannattavaa niiden kunnon ja käyttöajan perusteella, joten eri säästömahdollisuuksia on hyvä pohtia uusien säiliöiden asennuksen yhteydessä. Sopiviksi tarkasteltaviksi energiansäästökohteiksi osoittautuivat säiliön eristepaksuuden kasvattaminen sekä hönkähöyryn talteenotto.

#### 3.6.1 Eristys

Nykyinen syöttövesisäiliö on eristetty 100 mm paksulla vuorivillalla. Uuden säiliön eristäminen paksummalla vuorivillalla on järkevää, jos lämpöhäviöt ovat suuria. Laskelmissa on mitattu säiliön ulkopinnan lämpötilaksi +30 °C ja säiliön sisälämpötilaksi +105 °C. Eristeen ominaislämmönjohtavuudeksi arvioitiin 0,045 W/m·°C markkinoilla olevien eristeiden ominaisuuksien perusteella. Nykyisen säiliö pinta-ala ilman eristeitä on noin 28,12 m<sup>2</sup>. Laskelmissa on arvioitu sisälämpötilan olevan sama jokaisessa kohdassa ja sen vaippaa on käsitelty yhtenä isona seinänä. Lämpöhäviö saadaan kaavasta

$$\dot{Q} = A \cdot k \cdot \Delta T \quad (3)$$

jossa  $A$  on säiliön kokonaispinta-ala,  $k$  on eristeen lämmönjohtavuus ja  $\Delta T$  on säiliön sisä- ja ulkopinnan lämpötilojen erotus. Eristeen lämmönjohtavuus  $k$  saadaan

$$k = \frac{\lambda}{l} \quad (4)$$

missä  $\lambda$  on eristeen ominaislämmönjohtavuus ja  $l$  eristeen paksuus.

Hetkelliseksi lämpöhäviöksi 100 mm:n eristeellä saadaan kaavalla (3)

$$\dot{Q} = 28,12 \text{ m}^2 \cdot \left( \frac{0,045 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{0,1 \text{ m}} \right) \cdot (105 - 30) ^\circ\text{C} = 949 \text{ W}$$

Hetkellisen lämpöhäviön avulla saadaan vuosittainen hukkaan menevä lämpöhäviö

$$\dot{Q}_{vuosi} = 949 \text{ W} \cdot 8760 \text{ h} = 8314 \text{ kWh}$$

Lämpöhäviöt ovat verrannollisia eristeen paksuuteen. Taulukossa 4 on esitetty häviöt 120 mm ja 150 mm eristeille.

Taulukko 4. Eristeen paksuuden vaikutus hukkalämpötehoon

Eristeen paksuus	120 mm	150 mm	
$\dot{Q}$	790,908	632,726	W
$\dot{Q}_{vuosi}$	6928,350	5542,68	kWh

100 mm:n eristeellä syöttövesisäiliön häviöt ovat 8,314 MWh vuodessa ja 120 mm:n eristeellä 6,928 MWh vuodessa. Mikäli säiliö eristetään 120 mm:n villalla, säästyy vuodessa energiaa

$$\Delta_{säästö} = 8314,0 \text{ kWh} - 6928,4 \text{ kWh} = 1385,6 \text{ kWh} = 1,386 \text{ MWh}$$

150 mm:n paksuisella eristeellä säästyisi vuodessa energiaa

$$\Delta_{säästö} = 8314,0 \text{ kWh} - 5542,7 \text{ kWh} = 2771,3 \text{ kWh} = 2,771 \text{ MWh}$$

Lohjan sairaala ostaa kaasuntoimittajalta maakaasua hintaan 53,3 € / MWh. Jos syöttövesisäiliö eristettäisiin paksummalla eristeellä, polttoainekustannuksissa säästettäisiin 120 mm:n eristeellä

$$\text{Säästö rahana 120 mm:n eristeellä} = 1,386 \text{ MWh} \cdot 53,3 \text{ €/MWh} = 73,9 \text{ €/a}$$

$$\text{Säästö rahana 150 mm:n eristeellä} = 2,771 \text{ MWh} \cdot 53,3 \text{ €/MWh} = 147,7 \text{ €/a}$$

Lauhdesäiliön lämpöhäviöitä ei ole laskettu, koska ne ovat huomattavasti pienemmät kuin syöttövesisäiliöllä. Säiliö on kooltaan noin puolet pienempi, säiliössä on lauhdetta



yleensä vain noin 20 % sen varastointikapasiteetista ja lämpötilaero on paljon pienempi kuin syöttövesisäiliössä.

### 3.6.2 Hönkähöyryn talteenotto

Hönkähöyryä käytetään syöttövesisäiliön kaasunpoistimessa. Lohjan sairaalan kattilalaitoksessa kaasunpoistimen läpi virrannut hönkähöyry ajetaan tällä hetkellä katolle. Katolle menevässä hönkähöyryssä on paljon energiaa, ja sitä voidaan käyttää hyväksi syöttöveden lämmityksessä lämmönsiirtimessä.

Höyrykattilalaitoksessa hönkähöyrynä käytetään 3 barin paineista höyryä, joka on kuristusventtiilillä alennettu 1,21 barin paineeseen, jotta sen paine on sama kuin syöttövesisäiliössä. Hönkähöyryn tarve kaasunpoistimessa vaihtelee lisäveden tarpeen mukaan, mutta voidaan arvioida että höyryntuotannosta 0,5 % kulutetaan hönkähöyrynä. [8.]

Seuraavan laskutoimituksen perusteella voidaan laskea kuinka paljon energiaa voidaan säästää syöttöveden lämmityksessä kun kattila käy täydellä teholla.

Hönkähöyryn paine kaasunpoistimen jälkeen on 1,21 bar ja lisäveden lämpötila ennen syöttövesisäiliötä on 10 °C. Kattilan höyryntuottokapasiteetti on 6500 kg/h eli hönkähöyryä kulutetaan silloin

$$\dot{m}_{\text{hönkä}} = 0,005 \cdot 6500 \text{ kg} / \text{h} = 32,5 \text{ kg} / \text{h} = 0,009 \text{ kg} / \text{s}$$

Lauhteena takaisin kiertoon palautuu arviolta 80 %, joten lisävettä tarvitaan 20 %. Höyryntuottokapasiteetista saadaan lisäveden tarve

$$\dot{m}_{\text{lisävesi}} = 0,2 \cdot 6500 \text{ kg} / \text{h} = 1300 \text{ kg} / \text{h} = 0,361 \text{ kg} / \text{s}$$

Hönkähöyryn massavirran ja entalpiaeron avulla saadaan lämmönsiirtimen teoreettiseksi maksimitehoksi hönkäpuolella

$$\dot{Q}_{\max} = \dot{m}_{\text{hönkä}} \cdot \Delta h \quad (5)$$

Syöttövesisäiliölle menevä lisävesi pyritään lämmittämään mahdollisimman korkeaksi.

Hönkähöyry on käytännössä 1,21 barin paineista kylläistä höyryä, jolloin sen entalpia  $h=2683$  kJ/kg. Lämmönsiirtimen jälkeen höyry on lauhtunut kylläiseksi vedeksi, jolloin sen entalpia  $h=419$  kJ/kg.

Suurimmaksi mahdolliseksi lämmönsiirtotehoksi saadaan

$$\dot{Q}_{\max} = 0,009 \text{ kg/s} \cdot (2683 - 419) \text{ kJ/kg} = 20,4 \text{ kW}$$

Lämmönsiirtimestä ulos tulevan lämmitetyn veden teoreettinen lämpötila  $T_{\text{kylmä,ulos}}$  saadaan kaavasta

$$T_{\text{kylmä,ulos}} = T_{\text{kylmä,sisään}} + \frac{\dot{Q}_{\max}}{\dot{m}_{\text{lisävesi}} \cdot c_{p,v}} \quad (6)$$

jossa  $\dot{m}_{\text{lisävesi}}$  on lisäveden massavirta,  $c_{p,v}$  on veden ominaislämpökapasiteetti ja  $\Delta T$  on veden lämpötilaero.

$$T_{\text{kylmä,ulos}} = 10^\circ\text{C} + \frac{20,4 \text{ kW}}{0,361 \text{ kg/s} \cdot 4,19 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}} = 23,4^\circ\text{C}$$

Lisävettä voidaan siis lämmittää korkeintaan noin  $13^\circ\text{C}$ , kun massavirta on  $0,361$  kg/s.

Kulutetun hönkähöyryn ja tuotetun lisäveden määrät ovat arvioita siitä tilanteesta, kun kattila käy täydellä teholla. Todellisuudessa kattila käy osakuormalla. Kun lisäveden tarve on pienempi kuin 0,361 kg/s, sitä voidaan lämmittää enemmän kuin 13 °C. Tämä huomioon ottaen, suurimmaksi mahdollisesti säästettäväksi energiamääräksi saadaan

$$\varnothing_{\text{säästö}} = 20,4 \text{ kW} \cdot 8760 \text{ h} / a = 178704 \text{ kWh} / a = 179 \text{ MWh} / a$$

$$\text{Säästö rahana} = 179 \text{ MWh} / a \cdot 60 \text{ €} / \text{MWh} = 10740 \text{ €} / a$$

Hönkähöyryn talteenottojärjestelmiä toimittavan yrityksen tarjouksen perusteella, lämmönvaihtimen hinta olisi noin 5 500 €. Asennusten, putkistojen, eristysten, venttiilien sekä muiden tarvikkeiden hinnan voidaan arvioida olevan noin puolet järjestelmän kokonaishinnasta. Järjestelmän arvioiduksi kokonaishinnaksi tulisi näin ollen noin 11000 €.

Reaalikoron ollessa 3 % ja investoinnin laskenta-ajan 1 vuotta, annuiteetiksi lasketaan kaavasta (2)

$$AN = 1,03$$

Kokonaisinvestoinnin ja vuosittain saatavan tulon avulla voidaan laskea järjestelmän takaisinmaksuaika kaavalla (1)

$$TMA = \frac{-\ln\left(\frac{1}{0,03} - \frac{11000 \text{ €}}{10740 \text{ €}}\right) - \ln(0,03)}{\ln(1 + 0,03)} = 1,06$$

Hönkähöyryn talteenottojärjestelmän takaisinmaksuaika voi siis parhaimmillaan olla reilu vuosi.

## 4 Kannattavuusselvitys ekonomaiserin asentamiseksi

Lohjan sairaalan kattilalaitoksessa on käytäntö, jonka mukaan molempia höyrykattiloita käytetään päivittäin. Päivittäinen molempien kattiloiden käyttö takaa sen, että kattilavesi pysyy hyvänä myös vähemmän käytetyssä kattilassa ja samalla varmistetaan molempien kattiloiden toimintavarmuus. Koska toinen kattiloista on varustettu ekonomaiserilla, käytetään sitä pääosa vuorokaudesta. Kattilat eivät käy samaan aikaan; toisen kattilan käynnistyksen jälkeen toinen sammutetaan. Varalla olevaa höyrykattilaa pidetään paineistettuna, jotta häiriötilanteissa sekä muulloin tarpeen vaatiessa lämmön myynti Lohjan energian kaukolämpöverkkoon on mahdollista toteuttaa nopeasti. Varalla oleva höyrykattila käynnistyy automaattisesti, jos toiseen kattilaan tulee kattilahäiriö.

Ekonomaiserilla varustettua kattilaa käytetään huomattavasti varustamatonta kattilaa enemmän. Tämä aiheuttaa tilanteen, jossa kattiloiden käyttöiät ovat hyvin erilaiset. Myös kattiloiden polttimien käyttöiät ovat hyvin erilaiset. Ekonomaiserilla varustettua kattilaa käytetään vuorokaudessa noin 20 tuntia, jolloin sen käyttötunnit ovat vuodessa 500 % suuremmat kuin varustamattoman kattilan. Kattilalaitoksen käyttövarmuuden pitämiseksi on kattiloita kannattavaa käyttää tasapuolisesti.

### 4.1 Ekonomaiserit

Ekonomaiserit eli syöttöveden esilämmitin lämmittää kattilalle syötettävää vettä. Ekonomaiserissa vettä voidaan lämmittää kattilan savukaasuilla tai turbiinin väliottohöyryllä sähköä tuottavissa voimalaitoksissa. Periaatteena on, että mitä suurempi voimalaitos, sitä useammassa vaiheessa ja sitä kuumemmaksi syöttövesi kannattaa lämmittää. Savukaasulla toimivat ekonomaiserit valmistetaan yleensä niin, että savukaasupuolen lämmönsiirtopinnat ovat rivoitettuja. Tämä johtuu siitä, että virtaavan kaasun lämmönsiirto-ominaisuudet ovat kertalukua huonommat kuin ekonomaiserin toisella puolella virtaavan veden. Rivoitus pienentää myös lämmönsiirtimen kokoa huomattavasti, mutta rivoitetut lämmönsiirtimet ovat vaikeammin puhdistettavissa kuin rivottomat. Tämän takia esilämmittimissä käytetään ripaputkia, jos polttoaineena toimii puhtaasti palava polttoaine, kuten maakaasu. Kun polttoaine tuottaa runsaasti pölyä ja epäpuhtauksia, käytetään esilämmittimissä sileitä rivoittamattomia putkia.

## 4.2 Toimituksen sisältö

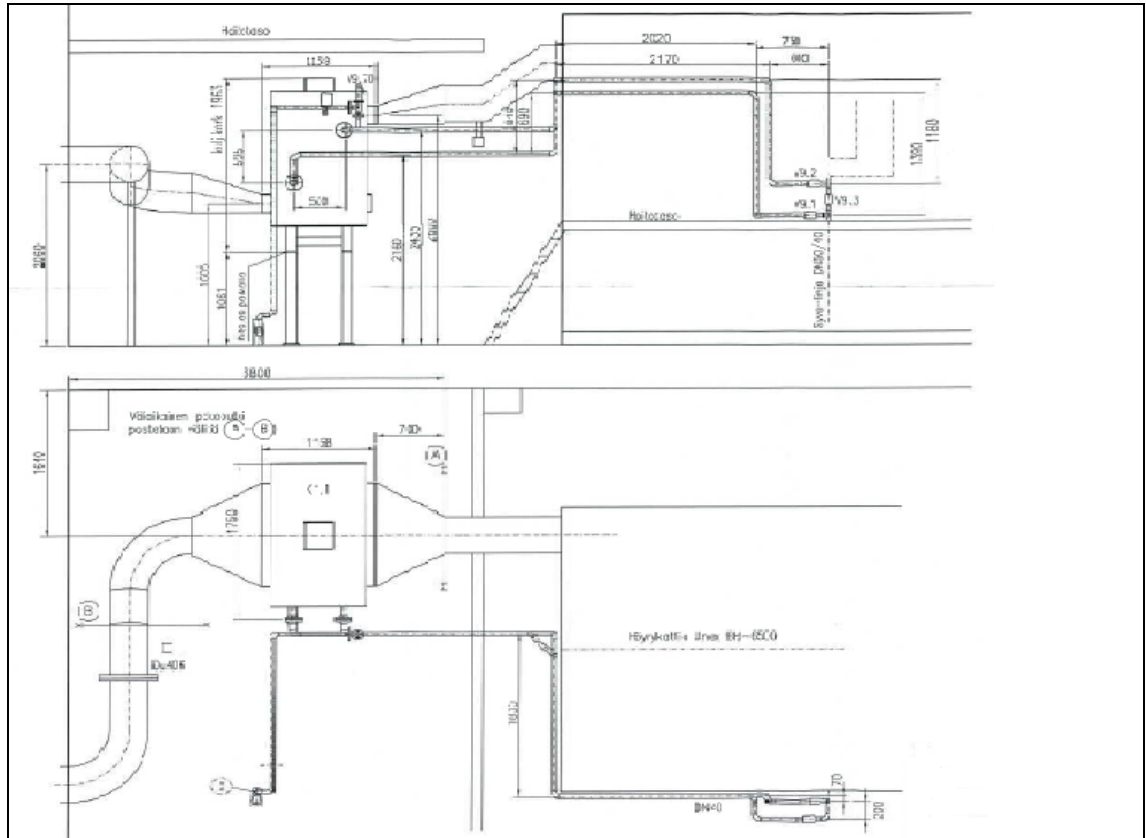
Toimitukseen sisältyvät seuraavat laitteistot ja asennukset:

- ekonomaiseri
- ekonomaiserin jalusta
- venttiilien, putkistojen ja savukaasukanavan mitoitus sekä asennus
- osoittavat paine- ja lämpötilamittaukset
- eristykset (ekonomaiseri, savukaasukanava, putkistot )
- kevytpolttoöljyn käytön ohitus (putkistot, savukaasukanava, pellit, venttiilit )
- PED-hyväksyntä
- käytön opastus ja huolto-ohjeet
- rahdit ym.
- loppudokumentointi.

Putkiston ja venttiilien mitoitus kuuluu toimittajalle, joka myös hankkii ekonomaiserille ja osille tarvittavat painelaitedirektiivin mukaiset hyväksynnät. Ekonomaiserin toimituksen ja siihen mitoitettavan putkiston ja venttiilien tulee täyttää Suomen painelaitelain säädökset. Ekonomaiserin putkisto- ja asennustyön suorittaa asennusurakoitsija. Myös ekonomaiserin, putkiston ja savukaasukanavan eristystyöt kuuluvat asennustyöurakoitsijalle. Toimittajan tulee suorittaa asennettuihin putkistoihin tarvittavat tarkastaukset ja tiiveyskokeet. Toimituksen tulee sisältää tarvittavat putkistovarusteet, venttiilit, laipat, yhteet, kannakkeet sekä muut tarvittavat varusteet toimivan järjestelmän aikaansaamiseksi.

Polttoöljyä käytettäessä ei voida ekonomaiseria käyttää, sillä sen savukaasuissa on mm. rikkiä joka syövyttää lämmönsiirtopinnat. Kevyttä polttoöljyä käytettäessä tulisi alimman savukaasulämpötilan olla 70 °C. Kevyen polttoöljyn palamisessa syntyy rikkidioksidi- ja rikkitrioksidipäästöjä, jotka aiheuttavat metallien korroosiota. Maakaasua poltettaessa ainoa merkittävä savukaasupäästö on typenoksidit, sillä sen poltosta ei aiheudu rikkidioksidipäästöjä.

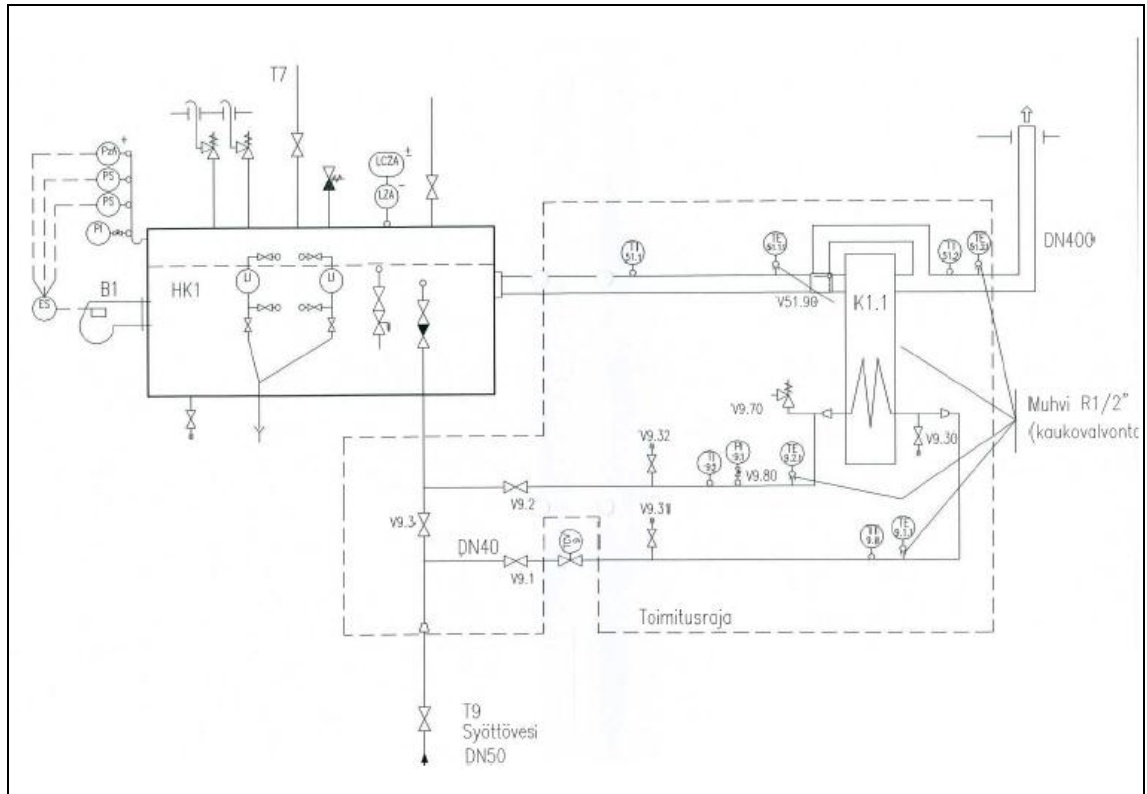
Ekonomaiseri asennetaan kattilan takaosaan. Savukaasukanava kattilalta tulee noin 2 – 2,75 m:n korkeudelle lattiapinnasta ja ekonomaiserilta savukaasut johdetaan noin 1 – 1,5 m:n korkeudella olevaan savukaasukanavaan. Väliaikainen savukaasuputki puretaan. Ekonomaiserin ajateltu asennuskohta kattilalaitoksessa on esitetty kuvassa 10.



Kuvio 10. Ekonomaiserin suunniteltu sijoitus kattilalaitoksessa

### 4.3 Asennuksen ja hankinnan urakkarajat

Urakkaraja kattaa savukaasupuolella nykyisen kattilan takaosa laipasta lämpökeskuksen seinän välille jäävät savukaasukanavan osat. Vesipuolella urakkarajana on kattilan syöttöveden säätöventtiilin ja kattilan venttiilien välille jäävät putkisto-osat. Kuvassa 11 on esitetty mahdollinen urakkaraja ekonomaiserialle katkoviivoin.



Kuvio 11. Ekonomaiserialin urakkaraja

Ekonomaiserialin asennus tehdään kesäaikana, koska energiantuotanto on tällöin vähäisintä. Asennuksen aikana käytetään jo ekonomaiserialilla varustettua kattilaa. Asennustyöt eivät tule vaikuttamaan olennaisesti höyrykattilalaitoksen käyttöön.

#### 4.4 Tilojen vaikutus asennuksiin

Mahdollisesti asennettava uusi ekonomaiseri on helppo asentaa kattilan savukaasukanavaan, koska tilaa on riittävästi. Laitteisto pystytään tuomaan asennuspaikalle kattilalaitoksen kevytrakenteisesta ulkoseinästä, joka on helppo purkaa. Korkeussuunnassa on tilaa riittävästi asennuksien suorittamiseen.

#### 4.5 Kustannusarvio

##### 4.5.1 Laitteistot ja asennukset

Laitteistojen kustannusarvio on laadittu laitteita valmistavien yritysten antamien hintojen mukaan sekä vertailemalla mm. aikaisemmin asennetun ekonomaiserin kustannuksia. Ekonomaiserin kokonaiskustannukseksi tulee arviolta 55 400 €. Taulukossa 5 on eritelty ekonomaiserin kustannukset.

Taulukko 5. Ekonomaiserin kustannukset

Kohde	Kustannus
Ekonomaiseri	18 900 €
Venttiilit jne.	3 200 €
Putkistot	7 500 €
Kanavat	4 700 €
Eristykset	4 200 €
PED hyväksyntä	3 400 €
Rahdit ym.	1 800 €
Suunnittelu	6 900 €
Muut kulut	4 800 €
<b>Yhteensä</b>	<b>55 400 €</b>

Kaikkien kohteiden kustannuksissa on mukaan huomioitu niiden asennuskustannukset. Ekonomaiserin eristys hoidetaan tehtaalla, sillä työmaalla tehty eristys nostaa työn hintaa.



Kustannusarviota laadittiin vuosittaisen tuotettavan energiamäärän mukaan. Kustannusarviossa laskettiin takaisinmaksuajat neljälle eri vuotuiselle käyttöajalle. Vuotuisina käyttöaikoina käytettiin 1440 h/a, 2200 h/a, 4000 h/a ja 6000 h/a.

Käyttöajoista kaksi ensimmäistä kuvaavat nykyhetken käyttöä kattilalla, jossa ei ole ekonomaiseria. Lohjan sairaalan kattilalaitos on yhteydessä Lohjan kaupungin kaukolämpöverkkoon, mikä antaa mahdollisuuden siihen, että sairaala voi myydä poikkeustilanteessa lämpöä. Tämä on otettu huomioon laskemalla kustannusarviot myös suuremmille käyttötunneille.

#### 4.5.2 Laskentamenetelmät

Kattilan hetkellinen teho riippuu syötettävän polttoaineen määrästä. Kattilan teho saadaan

$$\Phi_K = \dot{m}_{pa} \cdot H_u \cdot \eta \quad (7)$$

jossa  $\dot{m}_{pa}$  on polttoaineen massavirta,  $H_u$  on polttoaineen lämpöarvo ja  $\eta$  kattilan hyötysuhde.

Kattilan syöttöveden massavirta saadaan

$$\dot{m}_{sv} = \frac{\Phi_K}{(h_{th} - h_{sv})} \quad (8)$$

jossa  $h_{th}$  on tuorehöyryn entalpia ja  $h_{sv}$  on syöttöveden entalpia.

Ekonomaiserin teho voidaan laskea kaavasta

$$\Phi_{Eko} = \dot{m}_{sv} \cdot c_{p,v} \cdot (T_2 - T_1) \quad (9)$$

jossa  $\dot{m}_{sv}$  on syöttöveden massavirta,  $c_{p,v}$  on veden ominaislämpökapasiteetti,  $T_2$  veden lähtölämpötila ja  $T_1$  veden tulolämpötila.

#### 4.5.3 Tulokset

Nykyisellä ekonomaiserilla saadaan syöttövesi lämmitettyä 105 °C:sta noin 130 °C:seen. Kattilalta tulevat savukaasut ovat noin 200 °C ja ekonomaiserin jälkeen noin 130 °C. Valmistaja on ilmoittanut ekonomaiserin tehoksi 168 kW kattilan käydessä täydellä teholla ja tuleva ekonomaiseri tulee olemaan samanlainen.

Kattila ei kuitenkaan käy täydellä teholla koko aikaa vuodesta. Gasumin Lohjan sairaalalle antaman tiedon mukaan maakaasun keskimääräinen vuosittainen käyttö on 1 216 710 m<sup>3</sup>. Tulitorvi-tuliputkikattilan hyötysuhteeksi voidaan olettaa  $\eta = 0,95$  ja maakaasun alempi lämpöarvo  $H_u = 36 \text{ MJ/m}^3$ . [6.] Kattilalaitoksen keskimääräiseksi tehoksi saadaan kaavasta (7)

$$\Phi_K = \frac{1216710 \text{ m}^3}{(24 \cdot 3600 \cdot 365)} \cdot 36 \text{ MJ/m}^3 \cdot 0,95 = 1,32 \text{ MW}$$

Kun kattilan teho on 1,32 MW, saadaan tällöin syöttöveden massavirta selville kaavasta (8), kun syöttöveden entalpia on  $h_{sv}=546,4 \text{ kJ/kg}$  ja kattilasta saatavan tuorehöyryn entalpia  $h_{th}=2762,8 \text{ kJ/kg}$

$$\dot{m}_{sv} = \frac{1,32 \text{ MW}}{(2,7628 - 0,5464) \text{ MJ/kg}} = 0,595 \text{ kg/s}$$

Ekonomaiserille tulevan syöttöveden lämpötilaksi mitattiin 105 °C ja lähtölämpötilaksi 130 °C. Veden ollessa 100 °C sen ominaislämpökapasiteetti  $c_p$  on 4,22 kJ/kg°C.

Ekonomaisen teho saadaan kaavasta (9), kun  $\dot{m}_{sv}=0,595$  kg/s

$$\Phi_{Eko} = 0,595 \text{ kg/s} \cdot 4,22 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (130 - 105)^\circ\text{C} = 62,8 \text{ kW}$$

Kattilan kokonaistehosta ekonomaiserin teho on noin 4,8 %. Tällä saadaan laskettua vuotuinen ekonomaiserilla tuotettava energia. Taulukossa 6 on laskettu ekonomaiserilla tuotettava osuus vuosittaisesta energian tuotannosta.

Taulukko 6. Ekonomaiserilla tuotettavat osuudet (MWh/a)

<b>Vuotuinen käyttöaika</b>	<b>h/a</b>	<b>1440</b>	<b>2200</b>	<b>4000</b>	<b>6000</b>
	MWh/a	1900,8	2904	5280	7920
Ekonomaiserilla tuotettava osuus	%	4,76 %	4,76 %	4,76 %	4,76 %
	MWh/a	90,48	138,23	251,33	376,99

Reaalikoron ollessa 3 % ja investoinnin laskenta-ajan 5 vuotta, annuiteetiksi lasketaan kaavasta (2)

$$AN = 0,21835$$

josta saadaan vuosittain suoritettavaksi kustannukseksi,

$$\text{Vuosikustannus} = 0,21835 \cdot 55400 \text{ €} = 12\,097 \text{ €/a}$$

Ekonomaiserin liittämisen kannattavuutta voidaan myös tarkastella ekonomaiserilla saavutettavasta osuudesta vuosittaisesta energiamäärästä taulukosta 7.

Taulukko 7. Ekonomaiserilla tuotettava osuus keskimääräisestä vuosittaisesta energiamäärästä

<b>Vuotuinen käyttöaika</b>	<b>h/a</b>	<b>1440</b>	<b>2200</b>	<b>4000</b>	<b>6000</b>
Ekonomaiserilla tuotettu osuus kokonaisenergiasta	%	0,9 %	1,3 %	2,5 %	3,7 %

Takaisinmaksuajat riippuvat hyvin paljon siitä, kuinka paljon ekonomaiserilla varustettua kattilaa käytetään. Lohjan sairaala myy tuotettua lämpöä hinnalla 60 €/MWh. Vuosittainen tulo  $q$  riippuu siitä kuinka paljon ekonomaiserilla voidaan hyödyntää savukaasuista saatavaa lämpöenergiaa. Kun vuotuinen käyttöaika on 4000 h/a, vuosittain saatava säästö on ekonomaiserilla tuotettavan energian vuosiosuuden ja lämmön hinnan tulo eli 15 080 €/a.

Taulukossa 8 on laskettu takaisinmaksuajat, kun myytävästä lämmöstä saatava hinta on 60 €/MWh.

Taulukko 8. Investoinnin takaisinmaksuajat

Vuotuinen käyttöaika	h/a	1440	2200	4000	6000
- lämmöstä saatava hinta	€/MWh	60	60	60	60
- vuosittainen tulo $q$	€	5429	8294	15080	22620
<b>Investoinnin TMA yo. hinnalla</b>	<b>a</b>	<b>12,37</b>	<b>7,57</b>	<b>3,95</b>	<b>2,58</b>

Investoinnin takaisinmaksuaika lyhenee sitä mukaa mitä enemmän uutta ekonomaiseria käytetään. Jos uuden ekonomaiserin vuotuinen käyttö on 4000 tuntia, takaisinmaksuaika on noin neljä vuotta.

Lohjan sairaalassa vuonna 2014 tapahtuvan laajennuksen myötä kokonaisenergian kulutukseksi tulee noin 13 000 MWh/a. Tämän myötä myös ekonomaiserilla tuotettavan energian määrä kasvaa ja takaisinmaksuaika lyhenee. Taulukossa 9 on esitetty ekonomaiserin takaisinmaksuajat, kun kokonaisenergian kulutuksena on 10 250 MWh/a:n sijasta 13 000 MWh/a.

Taulukko 9. Investoinnin takaisinmaksuajat laajennuksen jälkeen

Vuotuinen käyttöaika	h/a	1440	2200	4000	6000
- lämmöstä saatava hinta	€/MWh	60	60	60	60
- vuosittainen tulo $q$	€	6653	10164	18481	27721
<b>Investoinnin TMA yo. hinnalla</b>	<b>a</b>	<b>9,72</b>	<b>6,04</b>	<b>3,19</b>	<b>2,09</b>

## 5 Päätelmät

Tämän insinööritöön tarkoituksena oli tehdä esiselvitys syöttövesi- ja lauhdesäiliöiden uusimisesta varusteineen sekä ekonomaiserin asennuksesta Lohjan sairaalan höyrykattilalaitokseen. Työssä selvitettiin uusien säiliöiden kustannukset sekä toiminta peruskorjauksien aikana ja olisiko kannattavaa varustaa myös toinen kattila ekonomaiserilla. Työssä selvitettiin myös mahdollisuuksia energiatehokkuuden parantamiseen.

Höyrykattilalaitoksella aikaisemmin tehdyn kuntokartoituksen perusteella ja toimintavarmuuden turvaamiseksi säiliöiden hankinta nähtiin lähitulevaisuudessa oleelliseksi. Syöttövesisäiliön kustannukseksi arvioitiin noin 46 000 € ja lauhdesäiliöiden kustannukseksi 23 000 €. Säiliöiden asennustyöt suoritettaisiin kesällä, kun laitoksen energiantuotanto on pienimmillään. Asennus vaiheistetaan niin, että ensin puretaan vanha ja asennetaan uusi syöttövesisäiliö ja sitten puretaan vanha ja asennetaan uusi lauhdesäiliö. Höyrykattilalaitos olisi asennustöiden takia noin viikon poikkeavassa ajossa.

Energiansäästömahdollisuuksia arvioitiin syöttövesisäiliön eristämisen sekä hönkähöyryn talteenoton kannattavuudella. Suoritettujen laskelmien tulokset tuskin ovat aivan tarkat, mutta antavat suuruusluokaltaan arvion saatavista säästöistä.

Säiliöiden eristepaksuutta lisäämällä saavutettava energiansäästö on hyvin vähäinen verrattuna vuotuisen energiankulutukseen. Eristepaksuuden ollessa 150 mm voidaan vähentää vuosittaisia lämpöhäviöitä 2,771 MWh. Saavutettava rahallinen säästö olisi noin 150 €/a. Lisäeristyksen maksaessa arviolta 800 – 1500 € takaisinmaksuajat olisivat 12 – 18 vuotta, jolloin lisäeristyksestä tulisi hyvin epäkannattava. Eristepaksuuden huomattava lisääminen säiliöön vähentää lämpöhäviöitä, mutta siitä voi aiheutua muita ongelmia. Koska tarkoituksena on uudessa säiliössä käyttää vanhan säiliön yhteitä, eristepaksuuden suuri lisääminen vaikeuttaa uusien asennusten tekemistä ja aiheuttaa lisäkustannuksia mm. suunnittelussa ja viivästyttää normaaliin ajotapaan pääsyä muunnosasennusten takia.

Hönlähöyryjen talteenottaminen osoittautui suhteellisen kannattavaksi energia-tehokkuutta ajatellen. Laskelmien perusteella suurin mahdollinen vuosittainen säästö voisi arviolta olla 10 700 €/a. Hönlähöyryn talteenottojärjestelmän arvioiduksi hinnaksi tulisi noin 11 000 € ja takaisinmaksuaika olisi tällöin noin vuosi. Järjestelmän helppo toteuttaminen, edullinen hinta ja energian hinnan jatkuva nouseminen puoltavat järjestelmän hankintaa. Lisäksi sairaalan laajennuksen myötä energian kulutus kasvaa huomattavasti, mikä lisää entuudestaan hankinnan kannattavuutta.

Ekonomaiserin kannattavuusselvityksessä laitteiden ja asennusten kokonaiskustannukseksi arvioitiin noin 55 000 €. Kustannusarviota laadittiin vuosittaisen tuotettavan energiamäärän mukaan ja takaisinmaksuajat laskettiin neljälle eri vuotuiselle käyttöajalle. Ekonomaiserin takaisinmaksuajat riippuvat käyttötuntien määrästä. Tällä hetkellä ekonomaiserilla varustetun kattilan käyttötunnit ovat huomattavasti suuremmat kuin varustamattoman, noin 18 – 20 tuntia vuorokaudessa. Jotta molempien kattiloiden kunnot pysyisivät suhteellisen samanlaisina, kattilakohtaiset käyttökuormat voidaan vaihtaa keskenään. Tällöin uuden ekonomaiserin käyttöaika vuodessa olisi noin 6000 tuntia ja takaisinmaksuajaksi tulisi noin kaksi ja puoli vuotta. Sairaalan laajennuksen toteutuessa, kokonaisenergian kulutus on noin 13 000 MWh/a. Tällöin ekonomaiserilla tuotetun energian osuus kasvaa ja käyttöajan ollessa noin 6000 tuntia vuodessa, takaisinmaksuaika olisi noin kaksi vuotta.

On myös mahdollista, että nykyinen käytössä oleva ekonomaiserin liitetäisiin molempiin kattiloihin. Tällöin rakennettaisiin kanavat molemmista kattiloista ekonomaiserin ja vaihtopelleillä ohjattaisiin käynnissä olevan kattilan savukaasut ekonomaiserille. Tämä ratkaisu olisi noin puolet halvempi kuin uuden ekonomaiserin asennus. Koska kohteena on sairaala, potilaiden hyvinvointi on turvattava höyryn ja lämmön säännöllisellä tuotolla. Asennustöiden ajaksi jouduttaisiin kattilat pysäyttämään, samoin kuin mahdollisen ekonomaiserin huollon aikana. Yhden ekonomaiserin kapasiteetti ei myöskään riittäisi kahdelle samaan aikaan käyväälle kattilalle, jos sairaala myisi energiaa kaupungin kaukolämpöverkkoon ja tällöin ekonomaiserista ei saataisi kaikkea hyötyä irti. Jos kattilauusinnat ovat ajankohtaisia noin 10 vuoden päästä, on syytä miettiä saadaanko asennettavan ekonomaiserin investointeja takaisin siihen mennessä ja voitaisiinko asennettavaa ekonomaiseria mahdollisesti käyttää tulevilla kattiloilla.

## Lähteet

- 1 Koivisto, Teuvo. 2011. Vastuualuejohtaja, HUS-Tilakeskus, Lohja. Haastattelu 1.3.2011.
- 2 Perttula, Jarmo. *Energiatekniikka*. Porvoo : WS Bookwell Oy. 2000.
- 3 Unicon SF- höyrykattilalaitokset. 2011. Verkkodokumentti.  
<[http://www.kpaunicon.com/tuotteet.asp?tuotesivu=unicon\\_sf](http://www.kpaunicon.com/tuotteet.asp?tuotesivu=unicon_sf)> Luettu 10.3.2011.
- 4 Huhtinen, Markku ym. *Voimalaitostekniikka*. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy. 2008.
- 5 Kaasalainen, Joonas. *Voimalaitoksen vedenkäsittelyn uudet menetelmät*. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Energia- ja ympäristötekniikan osasto. Lappeenranta. 2007.  
<<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/30957/TMP.objres.718.pdf?sequence=1>>. Luettu 15.4.2011.
- 6 Maakaasun tuotetiedote. 2011. Verkkodokumentti.  
<[http://www.gasum.fi/tuotteet/maakaasu/Documents/Maakaasun\\_tuotetiedote.p](http://www.gasum.fi/tuotteet/maakaasu/Documents/Maakaasun_tuotetiedote.pdf)  
[df](http://www.gasum.fi/tuotteet/maakaasu/Documents/Maakaasun_tuotetiedote.pdf)> Luettu 24.3.2011.
- 7 Investoinnin taloudelliset kriteerit. Laskuharjoitusten tukimateriaalia. TKK, Energiatalous ja voimalaitostekniikka. 2002.
- 8 Perttula, Jarmo. 2011. Lehtori, Metropolia Ammattikorkeakoulu, Helsinki. Haastattelu 4.4.2011.
- 9 Kankkonen, Sebastian. 2011. Johtava energia-asiantuntija, Elomatic, Vantaa. Haastattelu 7.4.2011.